

PCT/JP 2004/008216

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

17. 6. 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日      2 0 0 3 年   6 月 1 2 日  
Date of Application:

出 願 番 号      特 願 2 0 0 3 - 1 6 8 5 3 0  
Application Number:  
[ST. 10/C]:      [ J P 2 0 0 3 - 1 6 8 5 3 0 ]

出 願 人  
Applicant(s):

株式会社豊田自動織機  
新潟精密株式会社  
大見 忠弘

REC'D 06 AUG 2004

WIPO

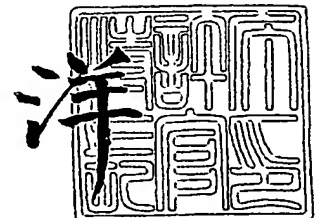
PCT

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年   7 月 2 2 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



出証番号   出証特 2 0 0 4 - 3 0 6 3 8 1 1

【書類名】 特許願

【整理番号】 2003TJ043

【提出日】 平成15年 6月12日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04B 1/30

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社豊田自動織機内

【氏名】 西牟田 武史

【発明者】

【住所又は居所】 新潟県上越市西城町2丁目5番13号 新潟精密株式会社内

【氏名】 宮城 弘

【発明者】

【住所又は居所】 宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2-1-17-301

【氏名】 大見 忠弘

【発明者】

【住所又は居所】 宮城県仙台市青葉区川内元支倉35-2-102

【氏名】 須川 成利

【発明者】

【住所又は居所】 宮城県仙台市宮城野区平成1-1-22-K6

【氏名】 寺本 章伸

【特許出願人】

【識別番号】 000003218

【氏名又は名称】 株式会社豊田自動織機

【特許出願人】

【識別番号】 591220850

【氏名又は名称】 新潟精密株式会社

## 【特許出願人】

【識別番号】 000205041

【氏名又は名称】 大見 忠弘

## 【代理人】

【識別番号】 100074099

【弁理士】

【氏名又は名称】 大菅 義之

【電話番号】 03-3238-0031

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012542

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9005945

【包括委任状番号】 0118621

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ダイレクトコンバージョン受信の周波数変換回路及びその半導体集積回路

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 受信信号を直交変換して I 信号と Q 信号に変換する回路が半導体集積回路基板上に形成された周波数変換回路であって、

第 1 の結晶面を主面とするシリコン基板上に第 2 の結晶面を側壁面として有する突出部を形成し、不活性ガスのプラズマ雰囲気中でシリコン表面の終端水素を除去した後、プラズマ雰囲気中で約 550 度 C 以下の温度で、前記突出部の頂面及び側壁面の少なくとも一部にゲート絶縁膜を形成し、該ゲート絶縁膜上にゲートを形成し、前記突出部の前記ゲート絶縁膜を挟む両側にドレイン及びソースを形成した M I S 電界トランジスタからなる差動増幅回路を有するダイレクトコンバージョン受信の周波数変換回路。

【請求項 2】 前記突出部は、頂面がシリコンの (100) 面からなり、側壁面がシリコンの (110) からなり、前記ソース及びドレインが、前記ゲートを挟む前記突出部及びシリコン基板の該突出部の左右の領域に形成された請求項 1 または 2 記載のダイレクトコンバージョン受信の周波数変換回路。

【請求項 3】 前記周波数変換回路は、p チャネル M I S 電界効果トランジスタと n チャネル M I S 電界効果トランジスタからなり、前記 p チャネル M I S 電界効果トランジスタの突出部の頂面及び側壁面のゲート幅を、前記 p チャネル M I S トランジスタと n チャネル M I S トランジスタの電流駆動能力がほぼ等しくなるように設定した請求項 1 または 2 記載のダイレクトコンバージョン受信の周波数変換回路。

【請求項 4】 前記周波数変換回路は、受信信号がそれぞれのゲートに入力される複数の前記 M I S 電界効果トランジスタからなる差動増幅回路と、第 1 の局部発振信号がそれぞれのゲートに入力され、該第 1 の局部発振信号と前記受信信号とを混合する複数の前記 M I S 電界効果トランジスタからなる差動増幅回路とを有する第 1 のミキサ回路と、受信信号がそれぞれのゲートに入力される複数の前記 M I S 電界効果トランジスタからなる差動増幅回路と、前記第 1 の局部発振

信号に対して90度の位相差を有する第2の局部発振信号がそれぞれのゲートに入力され、前記受信信号と前記第2の局部発振信号とを混合する複数のMIS電界効果トランジスタからなる差動増幅回路とを有する第2のミキサ回路と、前記第1の局部発振信号を生成する局部発振回路と、前記第1の局部発振信号に対して90度の位相差を有する第2の局部発振信号を出力する移相器とからなる請求項1, 2または3記載のダイレクトコンバージョン受信の周波数変換回路。

【請求項5】 受信信号を直交変換してI信号とQ信号に変換する周波数変換回路を半導体回路基板上に形成した半導体集積回路であって、

第1の結晶面を主面とするシリコン基板上に第2の結晶面を側壁面として有する突出部を形成し、不活性ガスのプラズマ雰囲気中でシリコン表面の終端水素を除去した後、プラズマ雰囲気中で約550度C以下の温度で、前記突出部の頂面及び側壁面の少なくとも一部にゲート絶縁膜を形成し、該ゲート絶縁膜上にゲートを形成し、前記突出部の前記ゲート絶縁膜を挟む両側にドレイン及びソースを形成したpチャネルMIS電界効果トランジスタとnチャネルMIS電界効果トランジスタとからなる回路と、

前記pチャネルMIS電界効果トランジスタまたはnチャネルMIS電界効果トランジスタからなる差動増幅回路を有する周波数変換回路とからなるダイレクトコンバージョン受信の半導体集積回路。

【請求項6】 前記pチャネルMIS電界効果トランジスタとnチャネルMIS電界効果トランジスタの前記突出部の頂面及び側壁面のゲート幅を、前記pチャネルMIS電界効果トランジスタと前記nチャネルMIS電界効果トランジスタの電流駆動能力がほぼ等しくなるように設定した請求項5記載のダイレクトコンバージョン受信の半導体集積回路。

【請求項7】 前記周波数変換回路は、前記pチャネルMIS電界効果トランジスタとnチャネルMIS電界効果トランジスタとからなるCMOS回路で構成される請求項5または6記載のダイレクトコンバージョン受信の半導体集積回路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

**【発明の属する技術分野】**

本発明は、半導体集積回路基板上に形成されるダイレクトコンバージョン受信の周波数変換回路及びその半導体集積回路に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

従来、MOSトランジスタの製造プロセスでは、800度C程度の高温雰囲気中でシリコン表面に熱酸化膜を形成し、その熱酸化膜をゲート絶縁膜としてMOSトランジスタを製造していた。

**【0003】**

半導体の生産効率を高めるためにより低い温度環境で酸化膜を形成することが望まれている。そのような要望を実現するために、例えば、特許文献1には、低温のプラズマ雰囲気中で絶縁膜を形成する技術が開示されている。

携帯電話等の無線通信の分野においては、機器の小型化、低コスト化を実現するために回路の集積化が行われている。

**【0004】**

無線信号の復調方式として、受信信号を中間周波数に変換し、増幅した後、ベースバンド信号に変換するスーパーヘテロダイン方式、受信信号を直接ベースバンド信号に変換するダイレクトコンバージョン方式が知られている。

ダイレクトコンバージョン方式は、スーパーヘテロダイン方式のように中間周波信号に変換する際に発生するイメージを除去するフィルタ等が不要となるので、より簡素な回路で受信機を構成することができる。

**【0005】**

図6は、ダイレクトコンバージョン受信機の回路の主要部を示す図である。

アンテナ41で受信された無線信号は、ローノイズアンプ42により増幅され、ミキサ回路43及び44に入力する。

ミキサ回路43の他方の入力端子には、局部発振回路45で生成されるローカル信号が入力し、ミキサ回路44の他方の入力端子には、そのローカル信号の位相を移相器46により90度位相をずらしたローカル信号が入力する。

**【0006】**

ミキサ回路 43 及び 44 において、受信信号とそれらのローカル信号が混合され、90度の位相差を有するベースバンド信号に変換される。そして、ローパスフィルタ 47, 48 により所定の周波数以上の信号が減衰され、DC アンプ 49, 50 に出力される。

#### 【0007】

DC アンプ 49, 50 は、ベースバンド信号を A/D 変換器 51, 52 の分解能に応じた信号レベルまで増幅する。

A/D 変換器 51, 52 は、アナログのベースバンド信号をデジタル信号に変換し、デジタル信号処理プロセッサ (DSP) 53 に出力する。DSP 53 は、ベースバンド信号に対してデジタル信号処理を行い信号を復調する。

#### 【0008】

上記のダイレクトコンバージョン受信回路では、ミキサ等 DC オフセットが生じ、ベースバンドの I 信号、Q 信号に DC オフセットが含まれてしまうという問題があった。

そのような問題を解決するために、例えば、特許文献 1 には、可変増幅器、位相調整器及び混合器を設け、所定の受信周波数において DC オフセットが最小となるような位相及び増幅度を設定し、その設定値を記憶しておいて、受信周波数を選定したときに、位相調整器及び可変増幅器の位相及び増幅度を記憶してある設定値に設定することで I 信号及び Q 信号の DC オフセットを減らすことが記載されている。

#### 【0009】

また、特許文献 2 には、シリコン基板上に立体構造のゲートを形成することが記載されている。

#### 【0010】

##### 【特許文献 1】

特開 2001-119316 号公報 (図 1, 段落 0016, 0017 等)

#### 【0011】

##### 【特許文献 2】

特開 2002-110963 (図 1)

## 【0012】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特許文献1の方法は、位相調整回路及び可変増幅回路等を追加しなければならないので受信回路が複雑になるという問題点がある。

また、周波数変換回路のMOSトランジスタの特性のばらつきによる位相誤差、振幅誤差等が生じ、I信号及びQ信号に位相誤差、振幅誤差等が含まれるという問題点があった。

## 【0013】

本発明の課題は、ダイレクトコンバージョン受信の周波数変換回路のI信号とQ信号の誤差を減らすことである。また、他の課題は、周波数変換回路における信号の歪みを減らすことである。

## 【0014】

## 【課題を解決するための手段】

本発明のダイレクトコンバージョン受信の周波数変換回路は、受信信号を直交変換してI信号とQ信号に変換する回路が半導体集積回路基板上に形成された周波数変換回路であって、第1の結晶面を主面とするシリコン基板上に第2の結晶面を側壁面として有する突出部を形成し、不活性ガスのプラズマ雰囲気中でシリコン表面の終端水素を除去した後、プラズマ雰囲気中で約550度C以下の温度で、前記突出部の頂面及び側壁面の少なくとも一部にゲート絶縁膜を形成し、該ゲート絶縁膜上にゲートを形成し、前記突出部の前記ゲート絶縁膜を挟む両側にドレイン及びソースを形成したMIS電界トランジスタからなる差動増幅回路を有する。

## 【0015】

この発明によれば、MIS電界効果トランジスタの特性のばらつきを少なくすることで、周波数変換回路内部で発生する位相誤差、振幅誤差等を減らし、I信号とQ信号の誤差を少なくできる。これにより、周波数変換回路に位相調整回路等を設ける必要がなくなる。

## 【0016】

さらに、ゲートを立体構造にし、低温プラズマ雰囲気中でゲート絶縁膜を形成



することでチャネル長変調効果の影響を少なくし、周波数変換回路における信号の歪みを少なくできる。

また、MIS電界効果トランジスタの特性（例えば、しきい値電圧など）のばらつきを少なくすることで、例えば、周波数変換回路を構成する複数のミキサ回路のDCオフセット、 $1/f$ ノイズをほぼ同じレベルに低減することができる。

#### 【0017】

また、MIS電界効果トランジスタの電流駆動能力を向上させることができると共に、シリコン基板の主面におけるMIS電界効果トランジスタの素子面積を小さくできる。

上記の発明において、不活性ガスのプラズマ雰囲気中でシリコン表面の終端水素を除去した後、プラズマ雰囲気中で約550度C以下の温度で、前記ゲート絶縁膜を形成し、該ゲート絶縁膜の水素含有量が表面密度換算で $10^{11}/\text{cm}^2$ 以下となるようにする。

#### 【0018】

不活性ガスは、例えば、アルゴン、クリプトン、キセノンなどからなる。

このように構成することで、シリコン表面のダメージを減らし、平坦度を高め、MIS電界効果トランジスタの特性（例えば、しきい値電圧など）のバラツキを少なくできる。これにより、周波数変換回路のDCオフセットや $1/f$ のノイズを低減することができる。 $1/f$ ノイズの低減は受信信号を音声信号に直接変換するダイレクトコンバージョン方式の周波数変換回路に特に有効である。

#### 【0019】

上記の発明において、前記突出部は、頂面がシリコンの(100)面からなり、側壁面がシリコンの(110)面からなり、前記ソース及びドレインが、前記ゲートを挟む前記突出部及びシリコン基板の前記突出部の左右の領域に形成する。

このように構成することで、シリコン基板の(100)面と(110)面にチャネルを形成することができるので、電界効果トランジスタの電流駆動能力を向上させることができる。

#### 【0020】

上記の発明において、前記周波数変換回路は、pチャネルMIS電界効果トラ

ンジスタと n チャンネル M I S 電界効果トランジスタからなり、前記 p チャンネル M I S 電界効果トランジスタの前記突出部の頂面及び側壁面のゲート幅を、p チャンネル M I S トランジスタと n チャンネル M I S トランジスタの電流駆動能力がほぼ等しくなるように設定する。

#### 【0021】

このように構成することで、p チャンネル M I S 電界効果トランジスタと、n チャンネル M I S 電界効果トランジスタの寄生容量をほぼ等しくできる。これにより、増幅回路の特性を改善できる。また、スイッチング時のノイズを低減できる。

本発明のダイレクトコンバージョン受信の半導体集積回路は、受信信号を直交変換して I 信号と Q 信号に変換する周波数変換回路を半導体回路基板上に形成した半導体集積回路であって、第 1 の結晶面を主面とするシリコン基板上に第 2 の結晶面を側壁面として有する突出部を形成し、不活性ガスのプラズマ雰囲気中でシリコン表面の終端水素を除去した後、プラズマ雰囲気中で約 550 度 C 以下の温度で、前記突出部の頂面及び側壁面の少なくとも一部にゲート絶縁膜を形成し、該ゲート絶縁膜上にゲートを形成し、前記突出部の前記ゲート絶縁膜を挟む両側にドレイン及びソースを形成した p チャンネル M I S 電界効果トランジスタと n チャンネル M I S 電界効果トランジスタとからなる回路と、前記 p チャンネル M I S 電界効果トランジスタまたは前記 n チャンネル M I S 電界効果トランジスタからなる差動増幅回路を有する周波数変換回路とからなる。

#### 【0022】

この発明によれば、M I S 電界効果トランジスタの特性のバラツキを少なくすることで、周波数変換回路内部で発生する位相誤差、振幅誤差等を減らし、I 信号と Q 信号の誤差を少なくできる。

さらに、ゲートを立体構造にし、低温プラズマ雰囲気中でゲート絶縁膜を形成することでチャンネル長変調効果の影響を少なくし、周波数変換回路における信号の歪みを減らすことができる。

#### 【0023】

また、立体構造の異なる結晶面にゲート絶縁膜を形成することで、M I S 電界効果トランジスタの電流駆動能力を向上させると共に、シリコン基板の主面にお

けるMIS電界効果トランジスタの素子面積を小さくすることができる。

さらに、周波数変換回路以外の回路に上記のpチャネルMIS電界効果トランジスタとnチャネルMISトランジスタを使用することで、その回路における信号歪みを少なくできる。また、 $1/f$ ノイズとDCオフセットを減らすことができる。 $1/f$ ノイズの低減は受信信号を音声信号に直接変換するダイレクトコンバージョン方式の周波数変換回路に特に有効である。

#### 【0024】

上記の発明において、前記pチャネルMIS電界効果トランジスタとnチャネルMIS電界効果トランジスタの頂面及び側壁面の幅を、前記pチャネルMIS電界効果トランジスタと前記nチャネルMIS電界効果トランジスタの電流駆動能力がほぼ等しくするようにする。

#### 【0025】

上記の発明において、前記周波数変換回路は、前記pチャネルMIS電界効果トランジスタとnチャネルMIS電界効果トランジスタとからなるCMOS回路で構成される。

このように構成することで、pチャネルMIS電界効果トランジスタとnチャネルMIS電界効果トランジスタの電流駆動能力をほぼ等しくできる。これにより、スイッチング時のノイズを正負対称にしてノイズを減らすことができる。

#### 【0026】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照しながら説明する。最初に、プラズマ状態の不活性ガスを用いて低温でシリコン基板上にゲート絶縁膜（例えば、酸化膜）を形成し、MIS (metal insulator semiconductor) 電界効果トランジスタを製造する半導体製造プロセスについて説明する。ゲート絶縁膜の形成方法については、特開2002-261091号公報に開示されている。

#### 【0027】

図1は、半導体製造プロセスで使用されるラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマ処理装置の断面図である。

真空容器（処理室）11内を真空にし、次にシャワープレート12からアルゴ

ン (Ar) ガスを導入した後、Ar ガスを排出口 11A から排出し、クリプトン (Kr) ガスに切替える。処理室 11 内の圧力は 133 Pa (1 Torr) 程度に設定する。

#### 【0028】

次に、シリコン基板 14 を、加熱機構を持つ試料台 13 の上に置き、試料の温度を 400℃程度に設定する。シリコン基板 14 の温度が 200-550℃の範囲内であれば、以下に述べる結果はほとんど同様のものとなる。

シリコン基板 14 は、直前の前処理工程において希フッ酸洗浄が施され、その結果表面のシリコン未結合手が水素で終端されている。

#### 【0029】

次に、同軸導波管 15 からラジアルラインスロットアンテナ 16 に周波数が 2.45 GHz のマイクロ波を供給し、マイクロ波をラジアルラインスロットアンテナ 16 から処理室 11 の壁面の一部に設けられた誘電体板 17 を通して処理室 11 内に導入する。導入されたマイクロ波はシャワープレート 12 から処理室 11 内に導入された Kr ガスを励起し、その結果シャワープレート 12 の直下に高密度の Kr プラズマが形成される。供給するマイクロ波の周波数が 900 MHz 程度以上、約 10 GHz 程度以下の範囲にあれば、以下に述べる結果はほとんど同様のものとなる。

#### 【0030】

図 1 の構成においてシャワープレート 12 とシリコン基板 14 の間隔は約 6 cm に設定している。この間隔は狭いほうがより高速な成膜が可能となる。

なお、ラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマ装置に限らず、他の方法を用いてマイクロ波を処理室内に導入してプラズマを励起してもよい。

#### 【0031】

シリコン基板 13 を Kr ガスで励起されたプラズマに曝すことにより、シリコン基板 14 の表面は低エネルギーの Kr イオン照射を受け、その表面終端水素が除去される。

次に、シャワープレート 12 から 97/3 の分圧比の Kr/O<sub>2</sub> 混合ガスを導入する。この際、処理室内の圧力は 133 Pa (1 Torr) 程度に維持してお

く。Kr ガスとO<sub>2</sub> ガスが混合された高密度励起プラズマ中では、中間励起状態にあるKr\*とO<sub>2</sub> 分子が衝突し、原子状酸素O\*を効率よく大量に発生できる。

#### 【0032】

この実施の形態では、この原子状酸素O\*によりシリコン基板14の表面を酸化する。従来のシリコン表面の熱酸化法では、O<sub>2</sub> 分子やH<sub>2</sub>O 分子により酸化が行われ、800°C以上の極めて高い処理温度が必要であったが、この実施の形態で行った原子状酸素による酸化処理では、400°C程度の非常に低い温度で酸化が可能である。Kr\*とO<sub>2</sub> の衝突機会を大きくするには、処理室圧力は高い方が望ましいが、あまり高くすると、発生したO\*同志が衝突し、O<sub>2</sub> 分子に戻ってしまうので、最適ガス圧力が存在する。

#### 【0033】

所望の膜厚のシリコン酸化膜（シリコン化合物層）が形成されたところでマイクロ波パワーの導入を止めプラズマ励起を終了し、さらにKr/O<sub>2</sub> 混合ガスをAr ガスに置換して酸化工程を終了する。本工程の前後にAr ガスを使用するのはKr より安価なガスをパージガスに使用するためである。本工程に使用されたKr ガスは回収再利用する。

#### 【0034】

上記の酸化膜形成に続いて、電極形成工程、保護膜形成工程、水素シント処理工程等を施してトランジスタやキャパシタを含む半導体集積回路を作成する。

上記の手順で形成されたシリコン酸化膜中の水素含有量を昇温放出により測定したところ、3nmの膜厚のシリコン酸化膜において面密度換算で10<sup>12</sup>/cm<sup>2</sup>程度以下であった。特にリーク電流が少ない酸化膜においてはシリコン酸化膜内の水素含有量は、面密度換算で10<sup>11</sup>/cm<sup>2</sup>程度以下であった。一方、酸化膜形成前にKr プラズマの暴露を行わなかった酸化膜は面密度換算で10<sup>12</sup>/cm<sup>2</sup>を超える水素を含んでいた。

#### 【0035】

上記のようにKr プラズマ照射により終端水素除去を施してからKr/O<sub>2</sub> ガスを導入して酸化を行った場合には、従来のマイクロ波プラズマ酸化により形成されたシリコン酸化膜よりも同一電圧におけるリーク電流が2～3桁も減少し、

非常に良好な低リーク特性が得られた。リーク電流特性の改善は、さらに薄い 1.7 nm 程度までの膜厚のシリコン酸化膜でも集積回路を製造できることが確認された。

#### 【0036】

また、上記の半導体製造プロセスにより得られたシリコン酸化膜について、シリコン／シリコン酸化膜界面準位密度の面方位依存性を測定してみると、どの面方位のシリコン表面においても、約  $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$  の非常に低い界面準位密度が得られた。

#### 【0037】

図2は、シリコン基板の(100)面、(110)面、(111)面の各面に上述した半導体性製造プロセスにより形成した  $\text{Kr}/\text{O}_2$  膜と、従来の熱酸化膜の界面準位密度の測定結果を示す図である。

図2に示すように、 $\text{Kr}/\text{O}_2$  膜を形成した場合には、(100)面、(110)面、(111)面の何れの面でもシリコンの界面準位密度が約  $10^{10} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$  以下となっている。これに対して、従来の  $800^\circ \text{C}$  以上の雰囲気中で形成した熱酸化膜の界面準位密度は、(100)面でも 1.1 倍以上の値となっており、上記の半導体製造プロセスにより、界面準位密度の低い高品質の絶縁膜を形成できることが分かる。

#### 【0038】

界面準位密度を低くすることにより、キャリアの再結合の確率を減らすことができ、それにより  $1/f$  ノイズを低減することができる。

耐圧特性、ホットキャリア耐性、ストレス電流を流したときのシリコン酸化膜が破壊に至るまでの電荷量 QBD (Charge-to-Breakdown) などの電気的特性、信頼性的特性に関して、第1の実施の形態の半導体製造プロセスで形成した酸化膜は、従来の熱酸化膜と同等ないしはそれ以上の良好な特性を示した。

#### 【0039】

上述したように、表面終端水素を除去してから  $\text{Kr}/\text{O}_2$  高密度プラズマによりシリコン酸化工程を行うことで、 $400^\circ \text{C}$  という低温において、あらゆる面

方位のシリコンに優れたシリコン酸化膜を形成することができる。このような効果が得られるのは、終端水素除去により酸化膜中の水素含有量が少なくなり、かつ、酸化膜中に不活性ガス（例えば、Kr）が含有されることに起因していると考えられる。酸化膜中の水素が少ないことでシリコン酸化膜内の元素の弱い結合が少なくなり、またKrが含有されることにより、膜中やSi/SiO<sub>2</sub>界面でのストレスが緩和され、膜中電荷や界面準位密度が低減され、その結果、シリコン酸化膜の電気的特性が大幅に改善されているものと考えられる。

#### 【0040】

上述した半導体製造プロセスでは、表面密度換算において水素濃度を $10^{12}/\text{cm}^2$ 以下、望ましくは $10^{11}/\text{cm}^2$ 程度以下にすることと、 $5 \times 10^{11}/\text{cm}^2$ 以下程度のKrを含むことが、シリコン酸化膜の電気的特性、信頼性的特性の改善に寄与しているものと考えられる。

#### 【0041】

なお、上記の半導体プロセスにおいて、不活性ガスとNH<sub>3</sub>ガスとの混合ガス、不活性ガスとO<sub>2</sub>とNH<sub>3</sub>との混合ガスを用い、シリコン窒化膜、シリコン酸窒化膜を形成しても良い。

窒化膜を形成することにより得られる効果は、表面終端水素を除去した後においても、プラズマ中に水素が存在することがひとつの重要な要件である。プラズマ中に水素が存在することにより、シリコン窒化膜中及び界面のダングリングボンドがSi-H、N-H結合を形成して終端され、その結果シリコン窒化膜及び界面の電子トラップが無くなると考えられる。

#### 【0042】

また、酸窒化膜を形成することにより得られる効果は、終端水素除去により酸窒化膜中の水素含有量が減少していることだけではなく、酸窒化膜中に数割以下の窒素が含有していることにも起因しているとも考えられる。酸窒化膜のKrの含有量は酸化膜に比較すると $1/10$ 以下であり、Krの代わりに窒素が多く含有されている。すなわち、酸窒化膜中の水素が少ないために、シリコン窒化膜中において弱い結合の割合が減少し、また窒素が含有されることにより、膜中やSi/SiO<sub>2</sub>また界面でのストレスが緩和され、その結果膜中電荷や界面準位密

度が減少し、酸窒化膜の電気的特性が大幅に改善されたものと考えられる。

#### 【0043】

プラズマ雰囲気中において酸化膜、あるいは酸窒化膜を形成することにより得られた好ましい結果は、終端水素が除去されたことによることだけが原因ではなく、窒化膜、酸窒化膜中にArまたはKrが含有されることにも関係すると考えられる。すなわち、上記の半導体製造プロセスにより得られる窒化膜では窒化膜中やシリコン／窒化膜界面でのストレスが、窒化膜中に含有されるArあるいはKrにより緩和され、その結果シリコン窒化膜中の固定電荷や界面準位密度が低減され、電気的特性特には $1/f$ ノイズの低減、信頼性が大幅に改善されたものと考えられる。

#### 【0044】

上記の半導体製造プロセスにおいて使用する不活性ガスは、Arガス、Krガスに限らず、キセノンXeガスも使用できる。

さらに、シリコン酸化膜、シリコン酸窒化膜を形成した後、真空容器1内の圧力を133Pa (1 Torr) 程度に保ったままシャワープレート12から分圧比98/2のKr/NH<sub>3</sub>混合ガスを導入し、シリコン酸化膜、シリコン酸窒化膜の表面に約0.7nmのシリコン窒化膜を形成しても良い。

#### 【0045】

これにより、表面にシリコン窒化膜が形成されたシリコン酸化膜、あるいはシリコン酸窒化膜が得られるのでより高い比誘電率を有する絶縁膜を形成することができる。

上述した半導体製造プロセスを実現するためには、図1の装置の他に、プラズマを用いた低温の酸化膜形成を可能とする別のプラズマプロセス用装置を使用してもかまわない。たとえば、マイクロ波によりプラズマを励起するためのArまたはKrガスを放出する第1のガス放出構造と、O<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>、またはN<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>ガスを放出する、前記第1のガス放出構造とは異なる第2のガス放出構造をもつ2段シャワープレート型プラズマプロセス装置を使用することも可能である。

#### 【0046】



次に、本発明の実施の形態の半導体製造プロセスについて説明する。この半導体プロセスは、シリコン基板の(100)面と(110)面にMIS電界効果トランジスタのゲート絶縁膜を形成するものである。

シリコンの(111)面にpチャネルトランジスタを形成すると、(100)面に比べて約1.3倍の電流駆動能力が得られ、(110)面に形成すると、(100)の面の約1.8倍の電流駆動能力が得られる。

#### 【0047】

図3は、実施の形態の半導体製造プロセスにより、シリコン基板22に(100)と(110)面を有する突出部23及び24を形成した状態を示している。また、図4は、実施の形態の半導体製造プロセスにより製造したnチャネルMOSトランジスタ20と、pチャネルMOSトランジスタ21の構造を示す図である。なお、図4にはゲート酸化膜の下部に形成されるチャネルを斜線で示してある。

#### 【0048】

図3に示すように、(100)面を主面とするシリコン基板22は、素子分離領域22cによりp型領域Aとn型領域Bとに分離されている。領域Aには、(100)面を基準にして高さが $H_A$ で幅が $W_{1A}$ の直方体形状の突出部23が形成され、領域Bには、同様に高さが $H_B$ で幅が $W_{1B}$ の突出部24が形成されている。

#### 【0049】

図4に示すように、シリコン基板22の表面及び突出部23及び24の頂面及び側壁面には、上述した第1の実施の形態の半導体製造プロセスによりシリコン酸化膜が形成されている。

そして、そのシリコン酸化膜の上にポリシリコンゲート電極25及び26が形成され、ゲート電極25及び26を形成する際に、シリコン酸化膜もパターンニングされ、ゲート電極25及び26の下部にゲート絶縁膜27及び28が選択的に形成される。

#### 【0050】

さらに、p型領域Aのゲート電極25の両側の領域にn型不純物イオンを注入

して、突出部 23 を含む n 型拡散領域 29 及び 30 を形成している。この n 型拡散領域 29 及び 30 は、n チャネル MOS トランジスタ 20 のソースとドレインを構成する。n 型領域 B においても、同様にゲート電極 26 の両側の領域に p 型不純物イオンを注入して、突出部 24 を含む p 型拡散領域 31 及び 32 を形成している。この p 型拡散領域 31 及び 32 は、p 型 MOS トランジスタ 21 のソースとドレインを構成する。

#### 【0051】

p チャネル MOS トランジスタ 21 及び n チャネル MOS トランジスタ 20 のゲート電極 26 及び 25 に所定の電圧が印加されると、ゲート酸化膜 28 及び 27 の下部に、図 4 に斜線で示すチャンネルが形成される。

n チャネル MOS トランジスタ 20 の (100) 面のゲート幅は、突出部 23 の頂面 (突出部 23 の上面) で  $W_{1A}$ 、突出部 23 の下部の左右のシリコン基板 22 の平坦部でそれぞれ  $W_{2A}/2$  であるので合計で  $W_{1A} + W_{2A}$  となる。また、n チャネル MOS トランジスタ 20 の (110) 面のゲート幅、すなわち突出部 23 の左右の側壁面のゲート幅は、それぞれ  $H_A$  であるので合計で  $2H_A$  となる。このゲート幅がチャンネル幅に相当する。n チャネル MOS トランジスタ 20 のゲート長は  $L_{gA}$  である。

#### 【0052】

従って、n チャネル MOS トランジスタ 20 の電流駆動能力は、 $\mu_{n1}(W_{1A} + W_{2A}) + \mu_{n2} \cdot 2H_A$  で表すことができる。なお、 $\mu_{n1}$  は (100) 面における電子移動度、 $\mu_{n2}$  は (110) 面における電子移動である。

同様に、p チャネル MOS トランジスタ 21 の (100) 面のゲート幅は突出部 24 の頂面で  $W_{1B}$ 、突出部 24 の下部の左右のシリコン基板 22 の平坦部でそれぞれ  $W_{2B}/2$  であるので、合計で  $W_{1B} + W_{2B}$  となる。また、p チャネル MOS トランジスタ 21 の (110) 面のゲート幅、すなわち、突出部 24 の左右の側壁面におけるゲート幅は、それぞれ  $H_B$  であるので、合計のゲート幅は  $2H_B$  となる。このゲート幅がチャンネル幅に相当する。p チャネル MOS トランジスタ 21 のゲート長は  $L_{gB}$  である。

#### 【0053】

従って、pチャネルMOSトランジスタ21の電流駆動能力は、 $\mu_{p1}(W_{1B}+W_{2B})+\mu_{p2}\cdot 2H_B$ で表すことができる。 $\mu_{p1}$ は、(100)面におけるホール移動度、 $\mu_{p2}$ は、(110)面におけるホール移動度を表す。

以上のことから、突出部23及び24の高さ $H_A$ を及び $H_B$ を適宜な値に設定することで、pチャネルMOSトランジスタ21の電流駆動能力と、nチャネルMOSトランジスタ20の電流駆動能力を平衡させることができる。この条件を式で表すと、以下ようになる。

#### 【0054】

$$M_{n1}(W_{1A}+W_{2A})+\mu_{n2}\cdot 2H_A=\mu_{p1}(W_{1B}+W_{2B})+M_{p2}\cdot 2H_B$$

上記の式を満足するような値に $H_A$ を及び $H_B$ を設定することにより、pチャネルMOSトランジスタ21の電流駆動能力とnチャネルMOSトランジスタ20の電流駆動能力を平衡させることができる。この場合、pチャネルMOSトランジスタ21の主面（例えば、(100)面）におけるチャネル幅を、nチャネルMOSトランジスタ20の(100)におけるチャネル幅に比べて大幅に広くする必要がないので、両者のゲート絶縁膜による寄生容量の差を小さくできる。これにより、pチャネルMOSトランジスタ21とnチャネルMOSトランジスタ20とによりCMOS構造の回路を構成した場合に、両者のゲート酸化膜による寄生容量を充放電するときの電流値のアンバランスを減らし、CMOS構造のトランジスタのスイッチング時に発生するノイズレベルを小さくできる。

#### 【0055】

なお、nチャネルMOSトランジスタ20のゲートの高さ $H_A$ を「0」にし、そのnチャネルMOSトランジスタ20と電流駆動能力がほぼ等しくなるようにpチャネルMOSトランジスタ21のゲートの高さ $H_B$ を設定しても良い。

また、pチャネルMOSトランジスタ21またはnチャネルMOSトランジスタ20を単独で形成する場合でも、pチャネルまたはnチャネルMOSトランジスタのシリコン基板の主面（例えば、(100)面）におけるゲートの面積を従来の半導体製造プロセスで製造する場合より狭くできるので、pチャネルMOSトランジスタ及びnチャネルMOSトランジスタのシリコン基板の主面に占める

面積を小さくできる。これにより、半導体回路の集積度を高めることができる。さらに、pチャネル及びnチャネルMOSトランジスタの寄生容量を小さくできるので、MOSトランジスタのスイッチ速度の向上と、スイッチング時の消費電力を減らすことができる。

#### 【0056】

なお、シリコン表面に形成する絶縁膜は酸化膜に限らず、シリコン窒化膜、シリコン酸窒化膜等を形成しても良い。

次に、上述した半導体製造プロセスにより、ダイレクトコバージョンの受信の周波数変換回路を半導体回路基板上に形成する場合について説明する。

#### 【0057】

ダイレクトコバージョン受信の周波数変換回路は、例えば、図6のミキサ43及び44と局部発振回路45と移相器46とからなる。以下、ミキサ回路43の具体的構成を、図5を参照して説明する。

図5は、ダブルバランス・ミキサであるギルバート・セルの回路を示す。このミキサ回路43は、pチャネルとnチャネルMOSトランジスタとにより構成されている場合を示している。

#### 【0058】

ミキサ回路43は、局部発振信号（LO信号）がゲートに入力する2組の差動対nチャネルMOSトランジスタM1～M4（差動増幅回路）と、RF信号がゲートに入力する1組の差動対nチャネルMOSトランジスタM5及びM6（差動増幅回路）と、定電流源であるnチャネルMOSトランジスタM7と、負荷として機能するpチャネルMOSトランジスタM8及びM9が縦型に接続されている。MOSトランジスタM7のゲートには、バイアス電圧VBIASが供給され、ソースは接地されている。

#### 【0059】

MOSトランジスタM5及びM6のソースは、MOSトランジスタM7のドレインに接続され、MOSトランジスタM5及びM6のゲートにはRF信号が差動入力されている。

MOSトランジスタM1及びM2のソースとMOSトランジスタM5のドレイ

ンを接続すると共に、MOSトランジスタM3及びM4のソースとMOSトランジスタM6のドレインを接続し、MOSトランジスタM1及びM4のゲートの接続点とMOSトランジスタM2及びM3のゲートの接続点とに局部発振信号を差動入力している。そして、MOSトランジスタM1及びM3のドレインに接続された第1の混合出力端子B1を設けると共に、MOSトランジスタM2及びM4のドレインに接続された第2の混合出力端子B2を設けている。MOSトランジスタM1及びM3、M2及びM4のドレインは、それぞれMOSトランジスタM8及びM9を介して電源VDDに接続されている。

#### 【0060】

ミキサ回路43は、局部発振信号をRF信号の周波数と同じにすれば、混合出力端子からベースバンド信号が出力される。

ミキサ回路43のMOSトランジスタのゲートを立体構造にし、かつ低温プラズマ雰囲気中でゲート酸化膜を形成することで、MOSトランジスタM1とM2とからなる差動増幅回路、MOSトランジスタM2とM4とからなる差動増幅回路、MOSトランジスタM5とM6とからなる差動増幅回路のチャネル長変調効果の影響を少なくできるので、周波数変換時の信号の歪みを減らすことができる。また、上記の差動増幅回路の負荷として機能するドレイン側の定電流回路（MOSトランジスタM8とM9からなる回路）、あるいは、ソース側の定電流回路（MOSトランジスタM7からなる回路）のチャネル長変調効果の影響を少なくできるので、ドレイン電圧が変化したときのドレイン電流の変動を少なくできる。

#### 【0061】

ミキサ回路44も、図5に示す回路で構成されている。図5と異なる点は、局部発振回路45により生成される局部発振信号の位相を90度ずらした信号がMOSトランジスタM1～M4のゲートに供給される点である。

上記の周波数変換回路によれば、シリコン表面のダメージを減らし表面を平坦化することで、MOSトランジスタの特性（例えば、しきい値電圧など）のばらつきを少なくできる。これにより、ミキサ回路43とミキサ回路44の内部で発生するI信号とQ信号の位相誤差、振幅誤差等を減らすことができる。また、ミキサ回路43とミキサ回路44で発生する誤差のレベルをほぼ同じにできるので

、I 信号と Q 信号の相対誤差も減らすことができる。

#### 【0062】

さらに、ゲートを立体構造に、低温のプラズマ雰囲気中でゲート酸化膜を形成することで、MOS トランジスタで構成した増幅回路、定電流回路のチャネル長変調効果の影響を少なくでき、周波数変換回路における信号の歪みを減らすことができる。

#### 【0063】

また、MOS トランジスタの電流駆動能力を向上させると共に、シリコン基板の主面におけるトランジスタの素子面積を小さくできる。

さらに、周波数変換回路の DC オフセットや  $1/f$  のノイズを低減することができるので、受信信号を音声信号に直接変換するダイレクトコンバージョン方式の周波数変換回路に特に有効である。

#### 【0064】

ミキサ回路 43 及び 44 は、例えば、n チャネル MOS と p チャネル MOS トランジスタからなる CMOS 回路で構成することも可能である。その場合、p チャネル MOS トランジスタと n チャネル MOS トランジスタの寄生容量をほぼ同じ値にできるので回路の特性が向上する。また、p チャネル及び n チャネル MOS トランジスタのオン、オフ時の電流の不均衡によるノイズを低減できる。

#### 【0065】

周波数変換回路以外の DC アンプ、A/D 変換回路、デジタル回路等で使用される p チャネル MOS トランジスタと n チャネル MOS トランジスタのチャネルを上述した半導体プロセスにより製造しても良い。

このように構成することで、他の回路の p チャネル MOS トランジスタと n チャネル MOS トランジスタの特性を揃えることができるので、DC オフセットや  $1/f$  ノイズを低減できる。また、MOS トランジスタの電流駆動能力が向上するので回路の動作特性も改善される。

#### 【0066】

さらに、周波数変換回路、あるいは他の回路の p チャネル MOS と n チャネル MOS トランジスタのチャネルを、シリコンの異なる結晶面（例えば、(100

面と(110))に形成するように、それらのチャネル幅をpチャネルMOSトランジスタとnチャネルMOSトランジスタの電流駆動能力がほぼ等しくなるように設計しても良い。

#### 【0067】

このように構成することで、pチャネルMOSトランジスタとnチャネルMOSトランジスタの寄生容量等をほぼ同じにできるので、スイッチング特性を向上できると共に、MOSトランジスタのオン、オフ時に流れる電流により発生するノイズを低減できる。

#### 【0068】

本発明は、上述した実施の形態に限らず、以下のように構成しても良い。

周波数変換回路は、ギルバートセル型の回路に限らず、受信信号と局部発振信号を混合してベースバンド信号に変換する回路であればどのような回路でも良い。

#### 【0069】

シリコンの結晶面は、(100)面と(110)面の組み合わせに限らず、(100)面と(111)面等の他の結晶面と組み合わせても良い。

#### 【0070】

##### 【発明の効果】

本発明によれば、周波数変換回路のI信号とQ信号の位相誤差、振幅誤差等を減らすことができる。さらに、チャネル長変調効果の影響を少なくし、周波数変換回路における信号の歪みを少なくできる。また、周波数変換回路のDCオフセットと $1/f$ ノイズを減らすことができるので、ダイレクトコンバージョン受信方式において特に効果が大きい。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

ラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマ装置の断面図である。

##### 【図2】

界面準位密度の比較図である。

##### 【図3】

実施の形態の半導体製造プロセスにより製造したシリコン基板の構造を示す図である。

【図 4】

実施の形態の半導体製造プロセスにより製造したMOSトランジスタの構造を示す図である。

【図 5】

ミキサの回路を示す図である。

【図 6】

ダイレクトコンバージョン方式の受信回路を示す図である。

【符号の説明】

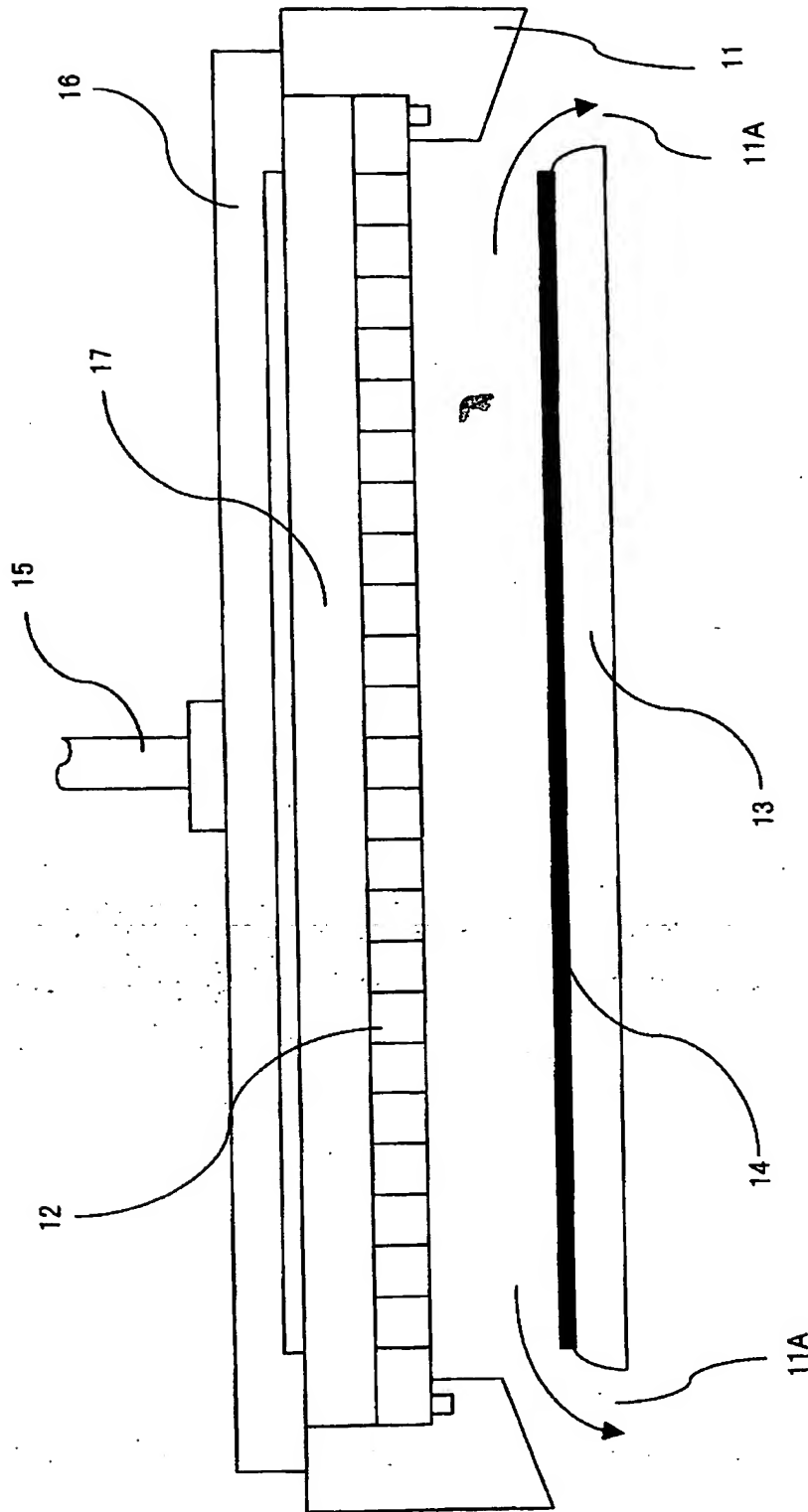
- 11 真空容器
- 12 シャワープレート
- 14 シリコン基板
- 15 同軸導波管
- 16 ラジアルスロットライン
- 17 誘電体板
- 22 シリコン基板
- 20 nチャネルMOSトランジスタ
- 21 pチャネルMOSトランジスタ
- 23, 24 突出部
- 25、26 ゲート電極
- 27、28 ゲート酸化膜
- 43、44 ミキサ
- 49、50 DCアンプ
- 51、52 A/D変換器
- M1～M5 nチャネルMOSトランジスタ
- M8、M9 pチャネルMOSトランジスタ



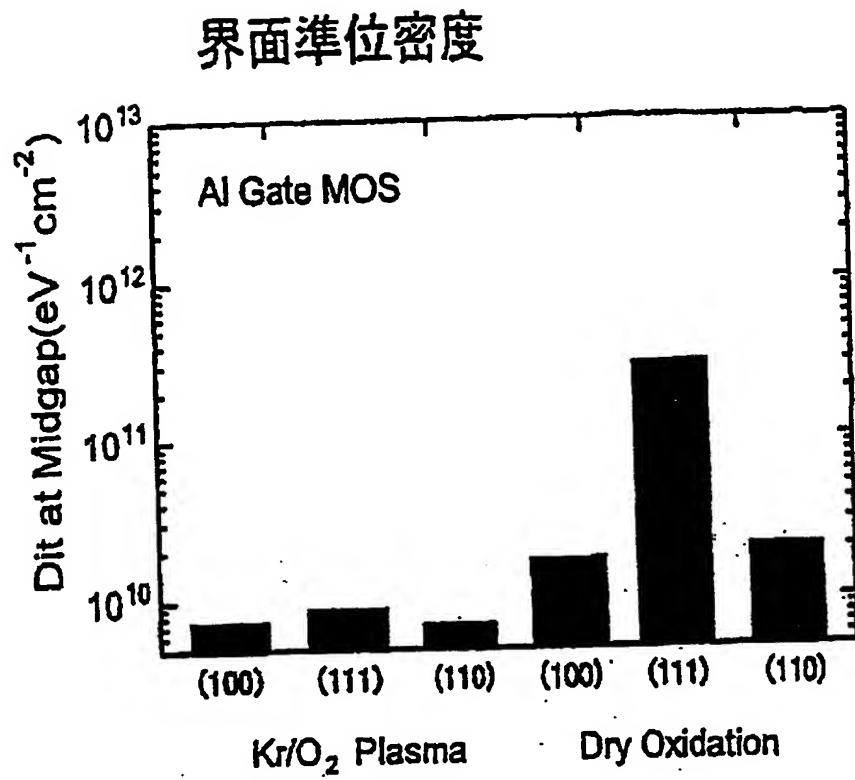
【書類名】

図面

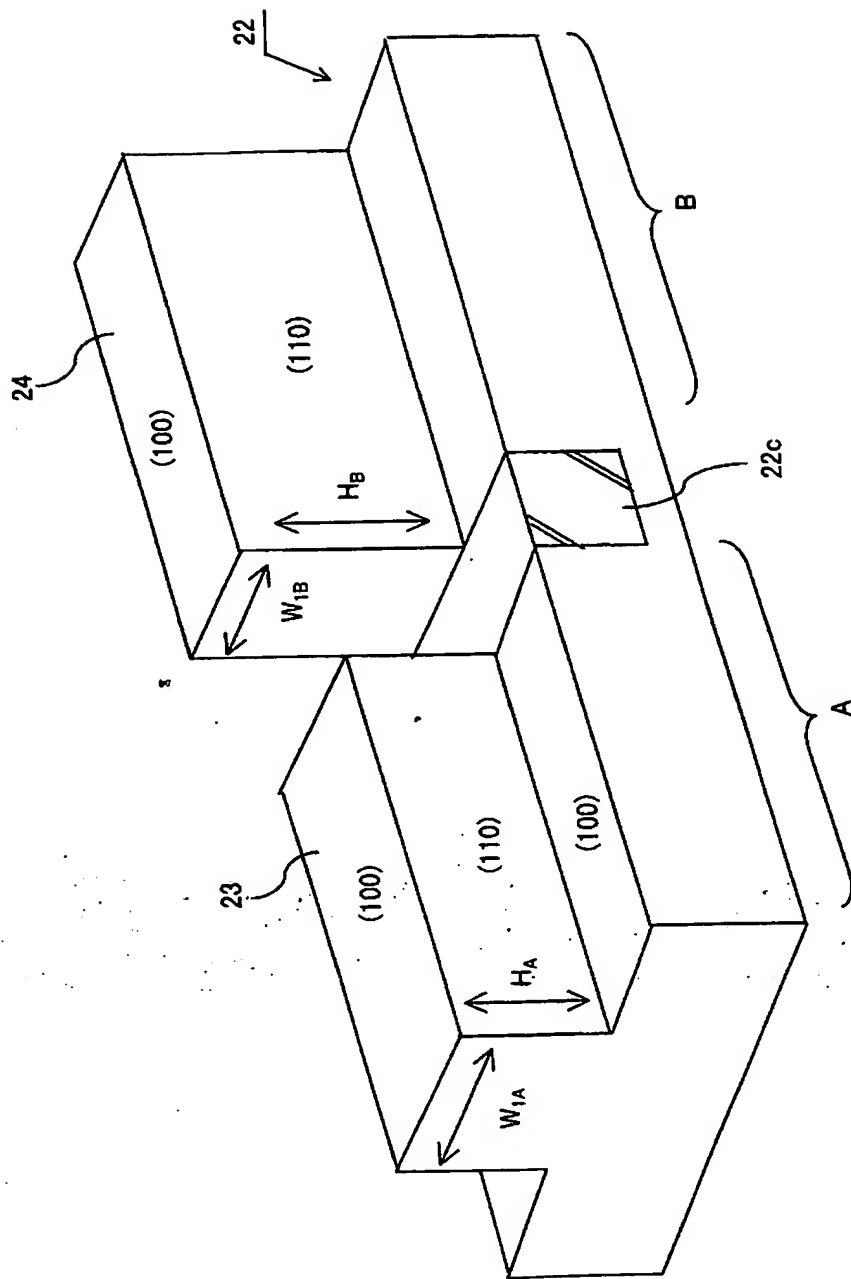
【図 1】



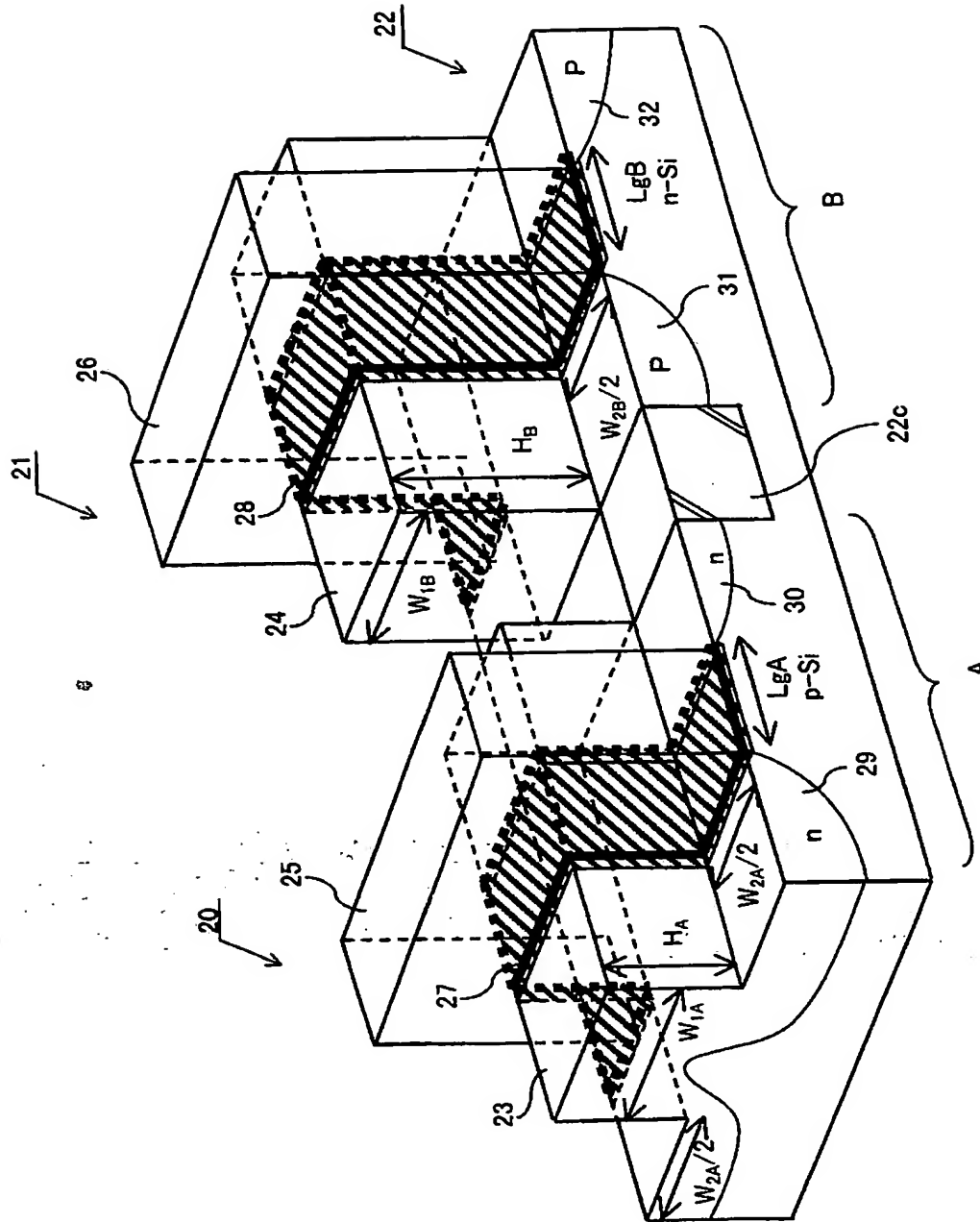
【図 2】



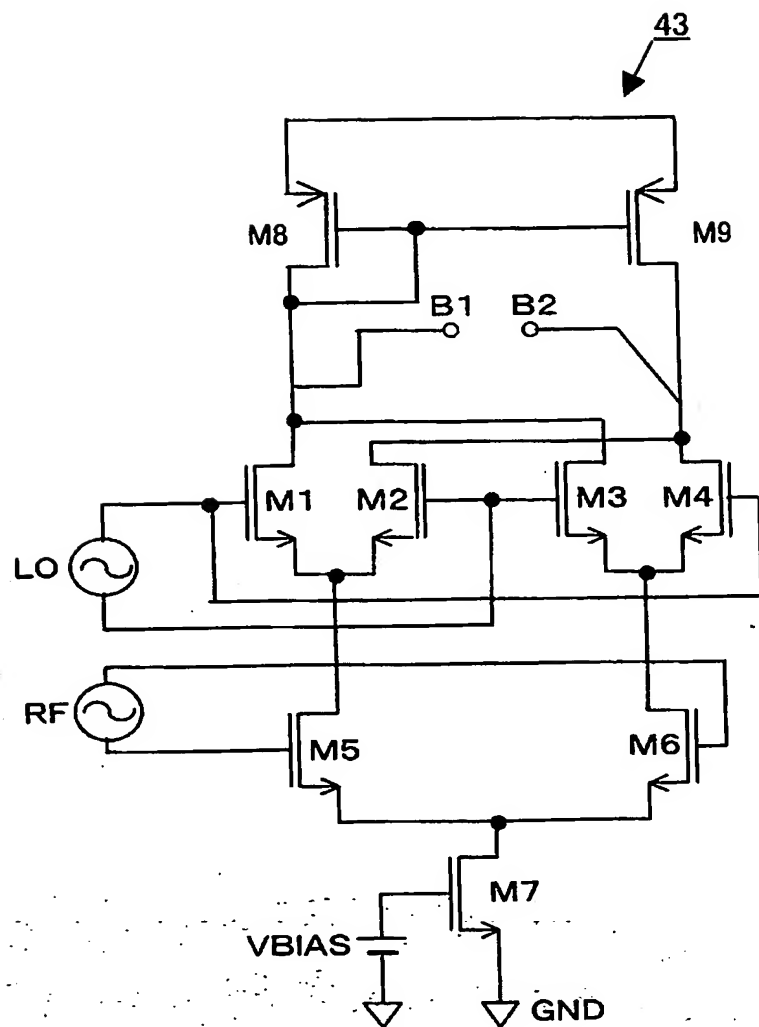
【図 3】



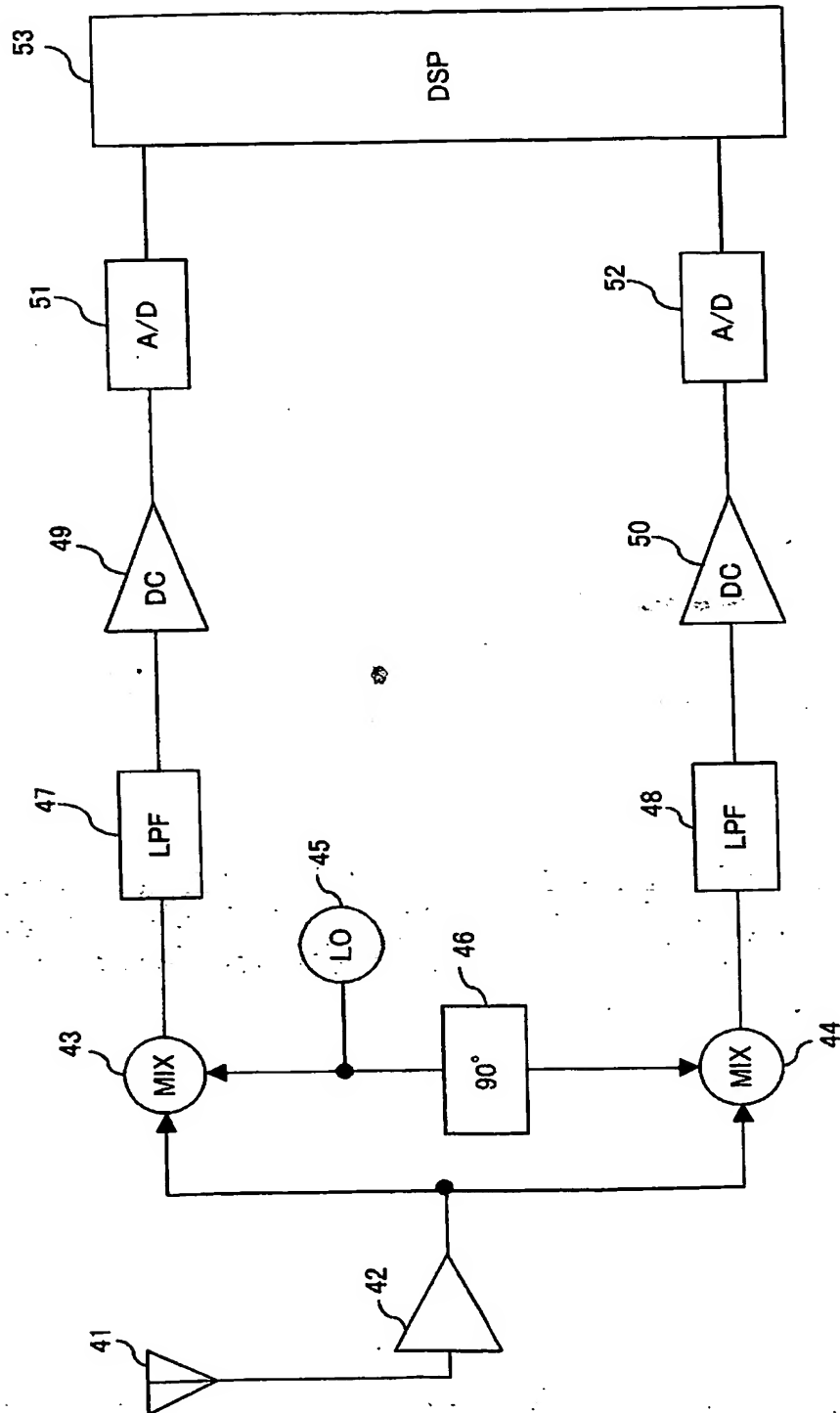
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ダイレクトコンバージョン受信の周波数変換回路における I 信号と Q 信号の誤差を減らす。

【解決手段】 シリコン基板上に高さ  $H_B$  で、幅が  $W_B$  の直方体状の突出部 21 を形成し、突出部 21 の頂面及び側壁面の一部にゲート酸化膜を形成する。ゲート電極 26 の両側にソースとドレインを形成して MOS トランジスタを形成する。この MOS トランジスタで周波数変換回路を構成する。

【選択図】 図 4



特願 2003-168530

出願人履歴情報

識別番号

[000003218]

1. 変更年月日

2001年 8月 1日

[変更理由]

名称変更

住所

愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地

氏名

株式会社豊田自動織機

特願 2003-168530

出願人履歴情報

識別番号

[591220850]

1. 変更年月日

[変更理由]

住所

氏名

1996年 5月 9日

住所変更

新潟県上越市西城町2丁目5番13号

新潟精密株式会社

特願 2003-168530

出願人履歴情報

識別番号

[000205041]

1. 変更年月日

1990年 8月27日

[変更理由]

新規登録

住所

宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2-1-17-301

氏名

大見 忠弘